

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ქართველიშვილი

სამეწარმეო სფეროს პროდუქციის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის,
გამოცდილების და გაზომვების მათემატიკური მოდელირება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2013 წელი

დისერტაცია შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ნოდარ აბელაშვილი, ტექნიკურ
მეცნიერებათა კანდიდატი, ასოცირებული
პროფესორი

რეცენზენტები: ნონა ოთხოზორია, ტექნიკურ
მეცნიერებათა კანდიდატი, ასოცირებული
პროფესორი

სოსო როგავა, ტექნიკურ მეცნიერებათა
კანდიდატი

დაცვა შედგება 2013 წლის “ ”

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის
სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი VI, აუდიტორია 311ა

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი სრული პროფ. თინათინ კაიშაური

Summary

Presented thesis “Mathematical model of measurement and test of industrial spere product quality control” is constructed with introduction, five chapter`s (25 paragraphs) and conclusion followed by bibliography.

In the **first chapter** of this dissertation “ **General information on the pipeline transportation of natural resources**” – discussed the state of pipeline transport in separate countries of the world. There is about 3,500,000 km of pipeline transport in the world. Among them 64% is natural gas pipeline and only 36% is for crude oil. Also considered pipeline transport history and prospects for development in Georgia. The oldest and biggest pipeline was planned and conctructed in 1897-1907. Now in Georgia is about 2 854 km of pipeline, among them there is about 1 258 km of crude oil and about 1 596 km of natural gas. Now in Georgia is 3 biggest active pipeline, BTC (Baku-Tbilisi-Ceyhan) and WREP (Western Route Export Pipeline) crude oil pipelines and SCP (South Caucasus Pipeline) gas pipeline. Discussed technology of oil pumping stations, working principles and calibration of pressure, temperature and flow measurement transmitters.

In the **second chapter** of this work “**Mathematical modelling at the design stage of the pipeline**” there are discussed Linear and dynamic mathematical modelling method for pipeline planning and dynamic programming of the mathematical modelling for correct choosing pipeline transport parameters. Given the task: we have 3 different ways to construction pipeline, and each way has different prerequisite. First – construction of pipeline must done with minimal expenditures, Second – pipeline must done in mimimal time and third - pipeline must satisfy the most people. Using mathematical modeling we must choose the best way for constructing and building the pipeline.

In the **third chapter** “**Organization of calibration process and control parameters measurement at crude oil pumping stations**” described the evaluation and comparison of uncertainty single and multiple direct measurements. During experiments was calibrated the pressure, temperature and flow transmitters at real

pumping stations. Was recorded calibration results and using this results was calculated uncertainty of these transmitters for single and multiple direct measurements.

In the **fourth chapter “Virtual modelling and simulation of the measurement process at pumping stations using LabVIEW”** is described general information about the graphical programming program LabVIEW. Possibility, using sphere and creating virtual models with LabVIEW. Using LabVIEW we created virtual models for single and multiple direct measurements as pressure also temperature and flow transmitters. Tested virtual models and record test results for single and multiple direct measurements. Using this results was calculated uncertainty of these virtual transmitters. Also was comparison virtual models uncertainty with real transmitters uncertainty.

In the **fifth chapter “Evaluation of measurement error and uncertainty for suitability of a virtual model”** is described investigation adequacy of virtual and real measuring system for measuring pressure, temperature and flow using the comparison of test results uncertainty. Calculated real pumping several group test data materiality verification for pressure, temperature and flow multiple measurement using comparison of measurements of dispersions. Calculated verification of materiality of Measurement data average difference from a group pumping stations for pressure, temperature and flow multiple measurements. Consolidation of observed test results of group pumping stations of real objects and virtual models measurement parameters.

უკანასკნელ წლებში ჩამოყალიბდა ხარისხის, როგორც ერთ-ერთი ფუნდამენტური კატეგორიის კონცეპტუალური ხედვა, რომელიც განსაზღვრავს ადამიანისა და საზოგადოების განვითარების სოციალურ და ეკონომიკურ საფუძველს, ცხოვრების წესს. ხარისხის ასეთი ხედვა თითქმის ყოვლისმომცველია და მკაფიოდ ასახავს ხარისხის ამდლების მნიშვნელობას. საზოგადოების თითოეული ადამიანზე ხარისხი და მასთან დაკავშირებული კომპონენტების გავლენა ყოველდღიური რეალობაა, რომელიც გულისხმობს არა მხოლოდ კონკრეტული პროდუქტის, კონკრეტული პარამეტრის შესაბამისობას სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნებთან, არამედ კომპლექსური, ყოვლისმომცველი ღონისძიებების გატარებასაც პროდუქციის საციცოცხლო ციკლის ყველა ეტაპზე.

ცხოვრების წესის ხარისხზე საგრძნობ გავლენას ახდენს მატერიალური გარემო – საქონლისა და მომსახურების ხარისხი. ამიტომ პროდუქციისა და მომსახურების ხარისხის პრობლემა იყო და რჩება აქტუალური. იგი სტრატეგიული პრობლემაა, რომლის გადაჭრაზეც მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებულია სახელმწიფო ეკონომიკის სტაბილურობა.

ხარისხის უზრუნველყოფისათვის საჭიროა არა მხოლოდ შესაბამისი მატერიალური ბაზა და დაინტერესებული პერსონალი, არამედ ასევე მნიშვნელოვანია ხარისხის სწორი მართვა. ამიტომაც იჩენენ ხარისხის მართვისადმი ინტერესს საწარმოები და იქმნება პროდუქციისა და მომსახურების ხარისხის მართვისა და უზრუნველყოფის ეფექტური მეთოდები.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით შეუძლებელია გადაჭარბებით შეაფასო ხარისხისათვის ბრძოლის აქტუალობა, რომელიც დაფუძნებულია საკონტროლო პარამეტრების კვლევის რაოდენობივი ანალიზის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებასთან. კვლევის ეს მეთოდები გულისხმობს ხარისხის პარამეტრების დადგენისა და შეფასებას საპროექტო, საგამოცდო, საწარმოო, საექსპლუატაციო და უტილიზაციის პროცესებში კონტროლის მექანიზმების გამოყენებას, რაც თავის მხრივ ამ

პროცესების მართვის აუცილებლობას წარმოშობს გამოსასვლელი პარამეტრის ოპტიმიზაციის მიზნით. როგორც ცნობილია ეფექტური მართვის განხორციელება შეუძლებელია მართვის ობიექტსა თუ პროცესზე სანდო და მაღალი სიზუსტით მოპოვებული პარამეტრების რაოდენობრივი მახასიათებლების ცოდნის გარეშე, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ხარისხის უზრუნველყოფის პროცესის განხორციელებისა და მართვისათვის აუცილებელია პარამეტრების კონტროლის პროცესში მოძიებული საზომი ინფორმაციის საიმედო და მაღალი ალბათობით სანდოობა.

კვლევის აქტუალობა. ქვეყანაში სულ უფრო მატულობს თანამედროვე ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებებით აღჭურვილი საწარმო-ტექნიკური და ტექნოლოგიური დანიშნულების საწარმოთა რაოდენობა, რაც ქვეყნის მაოფლიო მწარმოებლურ ინფრასტრუქტურაში ჩართვის კვალობაზე მოსალოდნელია, რომ კიდევ უფრო გაიზრდოს, ეს კი შესაბამისი დარგების უფრო მეტ ინტეგრაციას და ტექნიკური გადაწყვეტებისადმი მოთხოვნილებებსა და ინტერესებს კიდევ უფრო გაზრდის. ამიტომ მაღალი ფინანსური ტევადობის მქონე პროექტებში ობიექტის ქცევის წესების, მათი საექსპლოატაციო მახასიათებლების წინასწარი შესწავლა, ასევე კონტროლისა და მონიტორინგის ოპერაციებზე კვალიფიცირებული კადრების მომზადება უმნიშვნელოვანეს ამოცანათა რიგს განეკუთვნება.

ამ ამოცანის უზრუნველყოფა გასაზომი პარამეტრის სპეციფიკურობის გამო, ყოველთვის ადვილად მიღწევადი ამოცანა არ არის, განსაკუთრებით უწყვეტი ციკლით მოქმედი, ასევე დაპროექტების სტადიაში მყოფი პროცესებისათვის, განსაკუთრებით თუ აუცილებელია მომსახურე ოპერატორების წინასწარი მომზადება, ან განსაკუთრებულ სიტუაციებში პროცესისა და მომსახურე ოპერატორების ქცევის წესების შესწავლა და დადგენა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი განსახილველი თემა გაზომვის პროცესის მათემატიკური და ვირტუალური მოდელირების საკითხებია მილსადენი ტრანსპორტით გადაზიდვის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის, გამოცდისა და გაზომვის პროცესების უზრუნველყოფისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სიახლე მდგომარეობს პროდუქციისა და მომსახურების ხარისხის კონტროლის, უზრუნველყოფისა და მართვის ძირითადი პრინციპების გამოვლენისა და ანალიზის საფუძველზე ხარისხის მართვის ეფექტური მეთოდების დამუშავებაში.

გაზომვების სფეროში მონაცემთა დამუშავებისა და გაზომვის შედეგების წარმოდგენის ერთიანი ჰარმონიზებული სისტემის დანერგვა ევროკავშირსა და აშშ-სთან მოსალოდნელი თავისუფალი ვაჭრობის შესახებ შეთანხმების ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნაა, რომელიც გულისხმობს გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასების აუცილებლობას ISO 17025 სტანდარტის მიხედვით საწარმოო ტექნიკური თანამშრომლობის ყველა სფეროში. თავის მხრივ გაზომვის მონაცემების დამუშავების აღნიშნული მეთოდი კარგი საშუალებაა მათემატიკური და ვირტუალური მოდელის რეალური გაზომვის სქემასთან ადექვატურობის რაოდენობრივი კუთხით დასახასიათებლად.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მილსადენი ტრანსპორტით გადაზიდვის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის, გამოცდისა და გაზომვის პროცესების მათემატიკური და ვირტუალური მოდელირება მათი ოპტიმიზაციისა და მოდელების ადექვატურობის დადგენასათვის გაზომვის შედეგების განუსაზღვრელობების შეფასების გზით.

ძირითადი ამოცანები. დასახული მიზნის მისაღწევად სამუშაო ითვალისწინებს შემდეგი ძირითადი ამოცანების გადაწყვეტას:

- არსებული მაგისტრალური და ლოკალური მილსადენების პროექტირებისა და ექსპლოატაციის პირობების, მათი საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის მახასიათებლების დადგენასა და შესწავლას.
- რეალური საკვლევი ობიექტის საკონტროლო პარამეტრების (წნევა, ტემპერატურა, ხარჯი) გაზომვათა ცდომილების ანალიზი და განუსაზღვრელობის შეფასება;

- სატუმბ საგურებში საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის პროცესის ვირტუალური მოდელირება LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში;
- ცდომილებათა ანალიზი და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება მათემატიკური და ვირტუალური მოდელების რეალურ ობიექტთან ადექვატურობის დასადგენად.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს, რეალური (ბაქო-თბილისი-სუფსა) ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში საზომი აპარატურის კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის მათემატიკური და ვირტუალური მოდელების დამუშავება, შექმნა და გამოკვლევა.

ნაშრომში გამოყენებულია ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვათა განუსაზღვრელობის შეფასების, მათემატიკური მოდელირების წრფივი და დინამიკური პროგრამირების, LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში ვირტუალური მოდელირების, მათემატიკური სტატისტიკის აგრეთვე პროგრამული სტატისტიკური მოდელირების მეთოდები, რომელთა საშუალებითაც დადასტურებულია კვლევის ძირითადი პრინციპები და შედეგები.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. ნაშრომში დეტალურად განხილული და შესწავლილია საზომ საკონტროლო სამუშაოების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია ნავთობსადენზე, საკონტროლო ოპერაციებს ჩასატარებელი აღჭურვილობა, მათი თეორიული და პრაქტიკული საექსპლოუატაციო მახასიათებლები ნავთობსადენის დატვირთვის 0, 25, 50, 75, და 100% რეჟიმებისათვის სამი ძირითადი საკონტროლო პარამეტრის წნევის, ტემპერატურისა და ხარჯის მიხედვით, ასევე საზომი საშუალებების კალიბრების მეთოდები ნავთობსადენის ნომინალური დატვირთვის მოყვანილი სხვადასხვა რეჟიმებისათვის.

ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით თითოეული პარამეტრის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის ჩატარებულია

გაზომვის შედეგების თეორიული კვლევა გაზომვის ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შესაფასებლად.

წარმოდგენილია მათემატიკური მოდელირების წრფივი და დინამიკური პროგრამირების სატრანსპორტო ამოცანა პროექტირების ეტაპზე მილსადენის პარამეტრების შერჩევისა და აპრობაციისათვის.

ნაშრომში დამუშავებული, შექმნილი და გამოკვლეულია ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში საზომი აპარატურის კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ვირტუალური მოდელები LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში, რაზედაც რეალურ ობიექტზე ჩატარებული ანალოგიური ტიპის გაზომვებია ჩატარებული მათი შედეგების შედარების მიზნით.

პირველადაა გამოკვლეული ჩატარებული გაზომვების შედეგების ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის მისი შედეგების ადექვატურობის გამოსაკვლევად რეალური ობიექტის შედეგებთან, ასევე გამოკვლეული და მოცემულია სადგურთშორისი დაკვირვებათა ჯგუფების შედეგების გაერთიანების პირობები რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი შედეგები და რეკომენდაციები შესაძლებელია გამოყენებული იყოს საზომ საკონტროლო სამუშაოების ორგანიზაციის დაგეგმვისათვის ნებისმიერი ტიპის საწარმოო დანიშნულების ობიექტზე მოდელისა და რეალური ობიექტის მაქსიმალური ადექვატურობის უზრუნველსაყოფად მათი პროექტირების, წინასწარი აპრობაციისა და ექსპლუატაციის არასაშტატო პირობების გამოკვლევისას, განსაკუთრებით უწყვეტ ციკლიანი, ძვირადღირებული და გაზომვების ჩატარების შეზღუდული შესაძლებლობის მქონე ობიექტებისათვის, ასევე გაზრდილი პასუხისმგებლობის მქონე საზომ საკონტროლო სამუშაოების შემსრულებელი ოპერატორების მოსამზადებლად.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 160 გვერდს. იგი შედგება შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის შედეგების განსჯისა და დასკვნითი ნაწილისგან. შედეგების განსჯა თავის მხრივ შედგება 5 თავისა და ოცდახუთი ქვეთავისგან. ნაშრომში ჩართულია 54 ცხრილი, 32 ნახაზი. ნაშრომს თან ერთვის გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა 35 დასახელებით.

ნაშრომის მოკლე შინაარსი

ქვეყანაში სულ უფრო მატულობს თანამედროვე ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებებით აღჭურვილი საწარმოო-ტექნიკური და ტექნოლოგიური დანიშნულების საწარმოთა რაოდენობა, რაც ქვეყნის მაოფლიო მწარმოებლურ ინფრასტრუქტურაში ჩართვის კვალობაზე მოსალოდნელია, რომ კიდევ უფრო გაიზრდოს, ეს კი შესაბამისი დარგების უფრო მეტ ინტეგრაციას და ტექნიკური გადაწყვეტებისადმი მოთხოვნილებებსა და ინტერესებს კიდევ უფრო გაზრდის. ამიტომ მაღალი ფინანსური ტევადობის მქონე პროექტებში ობიექტის ქცევის წესების, მათი საექსპლოატაციო მახასიათებლების წინასწარი შესწავლა, ასევე კონტროლისა და მონიტორინგის ოპერაციებზე კვალიფიცირებული კადრების მომზადება უმნიშვნელოვანეს ამოცანათა რიგს განეკუთვნება.

ამ ამოცანის უზრუნველყოფა გასაზომი პარამეტრის სპეციფიკურობის გამო, ყოველთვის ადვილად მიღწევადი ამოცანა არ არის, განსაკუთრებით უწყვეტი ციკლით მოქმედი, ასევე დაპროექტების სტადიაში მყოფი პროცესებისათვის, განსაკუთრებით თუ აუცილებელია მომსახურე ოპერატორების წინასწარი მომზადება, ან განსაკუთრებულ სიტუაციებში პროცესისა და მომსახურე ოპერატორების ქცევის წესების შესწავლა და დადგენა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი განსახილველი თემა გაზომვის პროცესის მათემატიკური და ვირტუალური მოდელირების საკითხებია მილსადენი ტრანსპორტით გადაზიდვის ხარისხის პარამეტრების

კონტროლის, გამოცდისა და გაზომვის პროცესების უზრუნველყოფისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში – **“ზოგადი ცნობები მილსადენით ტრანსპორტირებად ბუნებრივ რესურსებზე”** – განხილულია ნავთობის ტრანსპორტირების მეთოდები და საშუალებები. არსებობს ნავთობის ტრანსპორტის 3 სახეობა: წყლის, რკინიგზის და მილსადენი. თითოეულ მათგანს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები აქვს.

მილსადენი ტრანსპორტი გამოიყენება დიდი რაოდენობის ნავთობის და ნავთობ პროდუქტების გადასაზიდად. ტრანსპორტის სხვა სახეობებთან შედარებით მას გააჩნია შემდეგი დადებითი თვისებები:

- მილსადენი უმოკლესი მანძილით აერთებს საწყის და ბოლოო წერტილებს;
- მისი დატვირთვა რიტმული და უწყვეტია, რაც გამორიცხავს დიდი რაოდენობის მარაგის შექმნას.
- დანაკარგების სიმცირე და გადაზიდვის ავტომატიზაციის შესაძლებლობა.

უარყოფითი მხარეა საწყისი კაპიტალდაზანდებების დიდი რაოდენობა და გადაზიდვის მიმართულების „უხეშობა“, ანუ მილსადენის მიმართულების შეცვლა მშენებლობის დამთავრების შემდეგ შეუძლებელია.

დღესდღეისობით მსოფლიოში მილსადენების საერთო სიგრძე დაახლოებით 3 500 000 კილომეტრია. მათ შორის ნავთობზე და ნავთობპროდუქტებზე როგორცაა დიზელი, ნავთი და სხვა შეადგენს დაახლოებით 36%, ხოლო დანარჩენი 64% კი მოდის ბუნებრივ გაზზე.

საქართველოში მილსადენის საერთო სიგრძე 2010 წლის მონაცემებით არის 2 854 კილომეტრია, მათ შორის ნავთობსადენი 1 258, ხოლო ბუნებრივი გაზის კი 1 596 კილომეტრია.

ამჟამად საქართველოს ტერიტორიაზე გადის 2 ნავთობ სადენი WREP (Western Route Export Pipeline) და BTC (Baku-Tbilisi-Ceyhan) და ერთი გაზსადენი SCP (South Caucasus Pipeline). ხოლო მეორე გაზსადენის (NABUCCO) მშენებლობა მიმდინარეობს. WREP ნავთობსადენით დღეში დაახლოებით 125 000 ბარელი, ხოლო BTC ნავთობსადენით დღეში

დაახლოებით 1 000 000 ბარელი ნავთობი მიეწოდება მსოფლიო ბაზრებს. ხოლო SCP გაზსადენი კი წელიწადში 20 მილიარდ კუბურ მეტრ აირს ატარებს.

მილსადენის ქსელი აღჭურვილია სხვადასხვა ხელსაწყოებით, დანადგრებით და მოწყობილობებით, რომელთა ერთობლივი მუშაობა უზრუნველყოფს პროდუქტის გადაადგილებას საწყისი ობიექტიდან საბოლოო ობიექტამდე. მილსადენი ზოგადად შედგება საწყისი სადგურის, სატუმბი ან მარეგულირებელი სადგურების, ჩამკეტი ურდულების და საბოლოო სადგურის ანუ ტერმინალისგან.

სატუმბ სადგურებზე უწყვეტ რეჟიმში მიმდინარეობს წნევის, ტემპერატურის და ხარჯის გაზომვა. წნევის და ტემპერატურის გასაზომად გამოიყენება ორი ტიპის საზომი მოწყობილობები: პირველი ანალოგური გამზომი მოწყობილობა - რომელიც დამონტაჟებულია მილსადენზე და ვიზუალური კონტროლისათვის იყენებენ, ხოლო მეორე ტიპის - გადამწოდი (ტრანსმიტერი - Transmitter), რომელიც ციფრული ფორმით გაზომვის შედეგს გადასცემს საოპერატორო ოთახში მართვის ფარის კომპიუტერზე შესაბამისი

ნაშრომის მეორე თავში „მათემატიკური მოდელირება ნავთობსადენის პროექტირების ეტაპზე“ საუბარია ამოცანაზე რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია მილგაყვანილობის დაპროექტება. მილგაყვანილობის სისტემა მოსაწყობია საწყისი N პუნქტიდან საბოლოო M პუნქტში. აღნიშნული მარშრუტის დაგეგმარებისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ მთავარი 3 პირობა: მილგაყვანილობის სისტემა უნდა შესრულდეს მინიმალური ხარჯებით, მინიმალურ დროში და დააკმაყოფილოს მაქსიმალურად ბევრი ადამიანი. ასევე გასათვალისწინებელია კაპიტალური და საექსპლუატაციო ხარჯები თითოეული პირობისათვის.

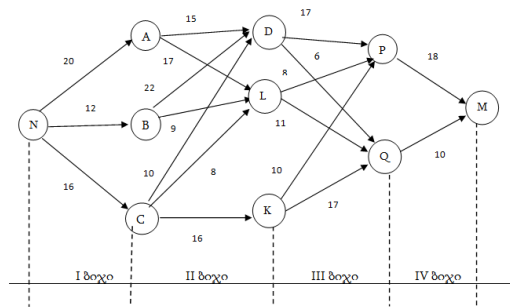
მილსადენის მინიმალური დანახარჯების გაყვანის შემთხვევაში კაპიტალური დანახარჯები $K1=200$ მილიონი დოლარი, ხოლო საექსპლუატაციო დანახარჯები $\Sigma 1=4$ მილიონი დოლარი/წელი.

მილსადენის მინიმალურ დროში გაყვანის შემთხვევაში კაპიტალური დანახარჯები $K1=160$ მილიონი დოლარი, ხოლო საექსპლუატაციო დანახარჯები $\Xi1=10$ მილიონი დოლარი/წელი.

მილსადენის გაყვანის შემთხვევაში როცა იგი დააკმაყოფილებს მაქსიმალურად ბევრ მომხმარებელს კაპიტალური დანახარჯები $K1=140$ მილიონი დოლარი, ხოლო საექსპლუატაციო დანახარჯები $\Xi1=14$ მილიონი დოლარი/წელი.

ამოცანა დავყოთ 3 ნაწილად, პირველ ნაწილში განვიხილოთ მილგაყვანილობის სისტემის გაყვანის ოპტიმალური მარშრუტი მინიმალური დანახარჯებისათვის, მეორე ნაწილში – მომხმარებელთა მაქსიმალური რაოდენობის დაკმაყოფილების მარშრუტი და ბოლოს განვიხილოთ მაქსიმალურად მცირე დროში ტრასის მშენებლობის მარშრუტის არჩევის შესაძლებლობა.

პროექტი დავუკავშირეთ დინამიკური პროგრამირების ამოცანას. ამოცანა დავყავით ოთხ ბიჯად და ამოხსნა დავიწყეთ მეოთხე ბიჯიდან, სადაც განისაზღვრება პირობით ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეოთხე, მესამე, მეორე და პირველი ბიჯისათვის.



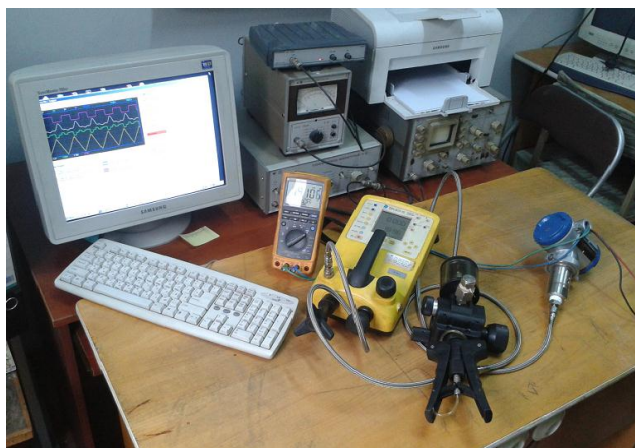
ნახ 1. ოპტიმალური მარშრუტის მოდელი მინიმალური დანახარჯებისათვის

ამოცანის პირველი ნაწილისთვის ოპტიმალურ მარშრუტს აქვს შემდეგი სახე $N \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow Q \rightarrow M$. ანალოგიური მეთოდით ამოვხსენით ამოცანის მეორე ნაწილი და ოპტიმალურ მარშრუტს აქვს შემდეგი სახე $N \rightarrow B \rightarrow L \rightarrow Q \rightarrow M$, ხოლო მესამე ნაწილისთვის კი $N \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow Q \rightarrow M$.

გამოვთვალეთ ოპტიმალური მარშრუტი მილსადენის კაპიტალური და საექსპლუატაციო ხარჯების გათვალისწინებით და ოპტიმალურ მარშრუტად მივიღეთ პირველი ვარიანტი $N \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow Q \rightarrow M$.

მესამე თავ „ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ორგანიზაცია“-ში მოცემულია რეალურ სატუმბ სადგურზე წნევის, ტემპერატურის და ხარჯის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის მონაცემები.

მრავალჯერადი წნევის გაზომვა მიმდინარეობდა წნევის გადამწოდიდან მიღებული წნევის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის დენის ძალის სიდიდის გაზომვით მილიამპერებში მაღალი სიზუსტის FLUKE 787 ტიპის მულტიმეტრით, რომლის სიზუსტის კლასი 0.05%, გაზომვის ბიჯი 0.001 mA, გაზომვის დიაპაზონი 0-30 mA. წნევის კალიბრატორის განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერტიფიკატის მიხედვით 0.0034Ba, მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერტიფიკატის მიხედვით 0.004mA. ძაბვის გავლენის განუსაზღვრელობა 0.005 V. დაკალიბრების დროს გამოიყენებოდა წნევის კალიბრატორი რომლის დიაპაზონი 0-35 Ba ხოლო სიზუსტის კლასი 0,025%. წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრების პროცესი ლაბორატორიულ პირობებში ნაჩვენებია ნახ.2.



ნახ.2. წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრება ლაბორატორიულ პირობებში

წნევის მრავალჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 1.

N	მიწოდებული წნევა, Ba	მიწოდებული დენი mA	გაზომილი დენი mA (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 25%-ის მნიშვნელობის დროს (წნევა 7.5 Ba)					
1.	7.5	8	8	0.0017000	0.0000029
2.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
3.	7.5	8	8.001	0.0007000	0.0000005
4.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
5.	7.5	8	8.004	0.0023000	0.0000053
6.	7.5	8	8.003	0.0013000	0.0000017
7.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
8.	7.5	8	8	0.0017000	0.0000029
9.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
10.	7.5	8	8.001	0.0007000	0.0000005
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობა \bar{x}_i		8	8.0017	$ \Sigma =0.0096$	$\Sigma=0.0000141$

გამოვითვალთ შესასვლელი სიდიდის სტანდარტული განუსაზღვრელობა გაზომვის მცირე რაოდენობისათვის.

ცხრილი 1-ში მოცემულია შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობები 10 ჯერადი გაზომვის შედეგების მიხედვით მიწოდებული წნევის 8 Ba-ის პირობებში წნევისა და დენის ძალის ერთეულებით. ცხრილში 1 ნაჩვენებია გაზომილი სიდიდის საშუალო არითმეტიკული და მოცემულია გაზომვის შედეგების $x_{iq} - \bar{x}_i$ მნიშვნელობები, ასევე მათი საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობები.

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10 \cdot 9} 0.0000141^2} = 0.00039 \quad 1$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 \cdot 0.00039 = 0.0004749 \quad 2$$

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვამლევს [1] $\tilde{d} = 0.8084$ რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(q/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,8084 < d_{q/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1].

მილსადენებში წნევის გაზომვის პროცესისათვის A ტიპის განუსაზღვრელობის გარდა დამახასიათებელია B ტიპის განუსაზღვრელობაც, რომელიც მილსადენებში სითხის მოძრაობისას სხვადასხვა ზემოქმედების ფაქტორების არსებობით გამოვლინდება.

მილსადენში სითხის დამყარებული მოძრაობა აღიწერება განტოლებით

$$\frac{dP}{\rho} + \lambda \left(\frac{dx}{D} \right) \left(\frac{\omega^2}{2} \right) + d \left(\frac{\omega^2}{2} \right) + g dz = 0. \quad 3$$

სადაც P - სითხის წნევაა მილსადენის კედლებზე;

ρ - სითხის სიმკვრივე;

λ - ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

x - მილსადენის სიგრძე;

g - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

ω - სითხის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;

z - მილსადენის ნიველირებული სიმაღლე.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულით სარგებლობენ მილსადენის დაპროექტებისა და გაანგარიშების დროს. ჩვენი შემთხვევისათვის გაზომვის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$P = \frac{\rho \lambda \omega^2}{2} \quad 4$$

გამოვითვალოთ ზემოქმედების ფაქტორების გავლენის კოეფიციენტის მნიშვნელობები ρ , λ , ω სიდიდეების კერძო წარმობებულების მიმართ

$$C_\rho = \frac{\partial P}{\partial \rho} = \frac{\lambda \omega^2}{2} = \frac{3,75 \cdot 10^{-2} \cdot 0,76^2}{2} = 0,011 \quad 5$$

$$C_\lambda = \frac{\partial P}{\partial \lambda} = \frac{\rho \omega^2}{2} = \frac{0,850 \cdot 0,76^2}{2} = 0,245 \quad 6$$

$$C_\omega = \frac{\partial P}{\partial \omega} = \rho \lambda \omega = 0,85 \cdot 0,0375 \cdot 0,76 = 0,024 \quad 7$$

ტემპერატურული ეფექტი საპასპორტო მონაცემებით 20°C

$$\gamma = \frac{\left(0,075 + 0,1 \frac{X_N}{X_n}\right)}{20^\circ\text{C}} \cdot 100\% = \frac{\left(0,075 + 0,1 \frac{30}{8,0017}\right)}{20^\circ\text{C}} = 0,0225\% \quad 8$$

მიღებული მნიშვნელობის გათვალისწინებით

$$\Delta_t = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0,0225 \cdot 30}{100} = 0,00675 \text{ mA} \quad 9$$

$$u_\vartheta = \frac{\Delta_t}{\alpha} = \frac{0,00675}{1,65} = 0,00409 \text{ mA} \quad 10$$

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0,001}{2} = \pm 0,0005 \text{ mA} \quad 11$$

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}} = 0,00029 \text{ mA} \quad 12$$

კალიბრატორის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0,01}{2} = \pm 0,005 \quad 13$$

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0,005}{\sqrt{3}} = 0,0029 \quad 14$$

B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$\begin{aligned} u_{\Sigma B} &= \sqrt{(u_\vartheta)^2 + (u_\rho)^2 + (u_s)^2 + (C_\rho \cdot u_\rho)^2 + (C_\lambda \cdot u_\lambda)^2 + (C_\omega \cdot u_\omega)^2} \\ &= \sqrt{0,00029^2 + 0,00409^2 + 0,004^2 + 0,005^2 + 0,0034^2 + 0,0029^2 + 0,000013^2 +} \\ &\quad + 0,000777^2 + 0,000001^2} \\ &= 0,0088 \quad 15 \end{aligned}$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$u_{\Sigma A, B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,0004749^2 + 0,00885^2} = 0,008866 \quad 16$$

წნევის მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(P) \quad 17$$

სადაც $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც მიახლოებით [1]

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n}} = 1.65 \sqrt{1.22} = 1.82. \quad 18$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით ტრანსმიტერის კალიბრების პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება

$$U = 1.82 \cdot 0.008866 = 0.0161mA \quad 19$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით

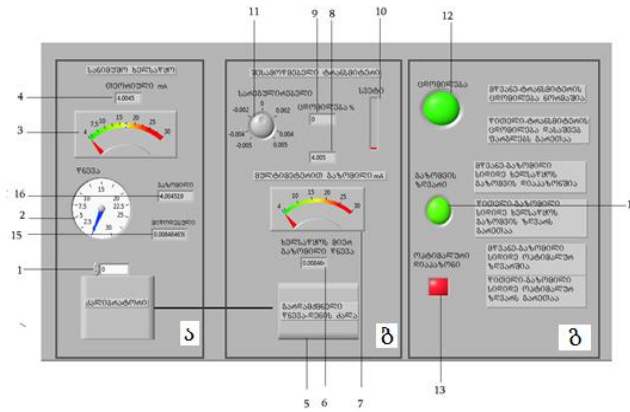
$$P = 8.0017 \pm 0.0161mA \text{ სანდოობის დონით } 0.95$$

მეოთხე თავში „სატუმბ სადგურებში გაზომვის პროცესის ვირტუალური მოდელირება LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში“ საუბარია გრაფიკული პროგრამირების LabVIEW-ს შესახებ. LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეა, რომელსაც ტექნიკური დარგის სპეციალისტები, მკვლევარები და პრაქტიკული საქმიანობით დაკავებული პროფესიონალები იყენებენ მთელ მსოფლიოში გაზომვის, გამოცდის, სამეცნიერო და პრაქტიკული ექსპერიმენტის მართვის ამოცანების სწრაფი გადაწყვეტისათვის.

გრაფიკული პროგრამირების LabVIEW-ში ავაგეთ წნევის, ტემპერატურის და ხარჯის ტრანსმიტერების დაკალიბრების და გაზომვის ვირტუალური მოდელები. ამ მოდელების მეშვეობით მოვახდინეთ ვირტუალურ სივრცეში გაზომვების ჩატარება. გრაფიკული პროგრამირების ენის LabVIEW გამოყენებით შექმნილი წნევის გაზომვის ვირტუალური მოდელი მოცემულია ნახ. 3.

ვირტუალური ინსტრუმენტებით შექმნილი წნევის საზომი ბლოკის სამუშაო მაგიდა დაყოფილია 3 ნაწილად, მარცხენა მხარეს

განლაგებულია სანიმუშო ხელსაწყოთა მონაცემები (ა), შუა ნაწილში შესამოწმებელი ტრანსმიტერის მონაცემებია (ბ), ხოლო მარჯვენა მხარეს კი გაზომვის შედეგების საკონტროლო ე.წ. "განგაშის პანელი" საინდიკაციო ინსტრუმენტები (გ).



ნახ. 3 ვირტუალური მოდელის წინა პანელი

წნევის კალიბრატორის როლს ვირტუალურ სქემაში ასრულებს შესასვლელი სიდიდეების დილაკი 1, სადაც ხდება სასურველი სიდიდის წნევის მნიშვნელობის არჩევა. შემდეგ მიღებულ სიგნალს ემატება შემთხვევითი სიგნალების გენერატორიდან შემთხვევითი მდგენელი და წნევის ეს მნიშვნელობა ინდიცირდება ინდიკატორ 15-ზე. კალიბრატორით 1 მიწოდება წნევა შესამოწმებელი ტრანსმიტერის გარდამქმნელს „წნევა-დენის ძალა“ (5). ამ გარდამქმნელის მეშვეობით ხორციელდება მიწოდებული წნევის გარდაქმნა ელექტრული დენის ძალის პროპორციულ მნიშვნელობად. სანიმუშო კალიბრატორის (1) მიერ მიწოდებული წნევის გრაფიკული მნიშვნელობა აისახება წრიული ფორმის ისრიანი საინდიკაციო პანელზე (2). გასაზომი წნევის მნიშვნელობის პროპორციული ელექტრული დენის ძალის გრაფიკული მნიშვნელობა აისახება ინდიკაცია 3-ზე, ხოლო მისი ციფრული მნიშვნელობის ინდიკაცია (4) საინდიკაციო ფანჯრის საშუალებით აისახება.

შესამოწმებელი ტრანსმიტერის მონაცემების პანელზე ტრანსმიტერის მიერ გაზომილი წნევის მნიშვნელობა ციფრულ ფორმაში აისახება ინდიკატორზე (6), რომლის გაზომვის დიაპაზონი ტრანსმიტერის დიაპაზონის ტოლია და შეადგენს 0 - 30 ბარს.

ვირტუალური მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0.001 მა;

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_j = \pm \frac{0.001}{2} = \pm 0.0005 \text{ mA} \quad 20$$

ცხრილებში N2-ში და N3 მოცემულია მოცემულია შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობები 10 ჯერადი გაზომვის შედეგები, გაზომილი სიდიდის საშუალო არითმეტიკული და გაზომვის შედეგების $x_{iq} - \bar{x}_i$ მნიშვნელობები, ასევე მათი საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობები.

მიწოდებული წნევის თეორიული მნიშვნელობა (“სანიმუშო” მნიშვნელობა) მიიღება ვირტუალური ხელსაწყოს წინა პანელზე ამოვლელი მოწყობილობის იმიტატორის გამოყენებით სადაც წნევის ერთეულებში მიწოდებული მნიშვნელობა მრავლდება გადასაყვანი კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე 0.533 mA/Ba . ნამრავლს ემატება 4 ერთეული, რაც დენის ერთეულებით გრადუირებული ხელსაწყოს 0-ის მნიშვნელობას შეესაბამება.

ცხრილი N2

N	მიწოდებული წნევა			კალიბრატორის ცდომილება	
	კალიბრატორით	თეორიული $X_{თეორ}$	გაზომილი $X_{გაზ}$	აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ_j
	Ba	mA	mA	mA	%
1	7.5018	8.001	7.9929	0.00807	0.1009
2	7.5034	8.0018	7.9937	0.0080	0.1004
3	7.5006	8.0003	7.9922	0.00804	0.1006
4	7.5079	8.0043	7.9961	0.00811	0.1014
5	7.5054	8.0029	7.9945	0.00805	0.1007
6	7.5028	8.0015	7.9934	0.00807	0.1009
7	7.5076	8.0041	7.9960	0.00807	0.1010
8	7.5048	8.0026	7.9945	0.00810	0.1013
9	7.5043	8.0023	7.9942	0.00805	0.1007
10	7.5040	8.0022	7.9941	0.00807	0.1010
საშუალო	7.5043	8.0023	7.9942		

მიღებული შედეგი წარმოადგენს წნევის თეორიულ, მათემატიკური გამოთვლებით მიღებულ მნიშვნელობას და ვირტუალური გაზომვის პროცესისათვის შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც სანიმუშო, გენერირებული სიგნალის რეალურ პირობებთან მიახლოების თვალსაზრისით.

კალიბრატორის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ} - X_{თეორ} = 7.994231 - 8.0023 = -0.00807 \text{ mA} \quad 21$$

კალიბრატორის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ}} * 100\% = \frac{0.00807}{7.994231} * 100\% = -0.10094 \quad 22$$

მულტიმეტრით გაზომილი წნევის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ.მ} - X_{თეორ} = 8.0158 - 8.0023 = \pm 0.0135 \text{ mA}. \quad 23$$

მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ.მ}} * 100\% = \frac{0.0135}{8.0152} * 100\% = 0.168\% \quad 24$$

ცხრილი N3

მულტიმეტრი			$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომილი x_{iq}	ცდომილება			
	აბსოლუტური Δ_{θ}	ფარდობითი δ_{θ}		
mA	mA	%		
8.014	-0.013	-0.01	0.004	0.0000203
8.015	0.0162	-0.01	0.002	0.0000062
8.021	-0.02	-0.02	0.006	0.0000423
8.019	-0.014	-0.014	0.011	0.0001322
8.013	-0.01	-0.01	0.006	0.0000423
8.017	-0.015	-0.015	0.002	0.0000062
8.018	-0.013	-0.013	0.006	0.0000422
8.015	-0.012	-0.012	0.010	0.0001103
8.016	-0.007	-0.007	0.003	0.0000123
8.01	-0.007	-0.007	0.002	0.0000062
8.015			$\Sigma=0.057$	$\Sigma=0.00042$

რეალური მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0.05%-ის ტოლია, ვირტუალური მოდელისათვის მიღებული მონაცემების მიხედვით შესაძლებელია გამოვითვალოთ კონკრეტული გაზომვის ფარდობითი

ცდომილება, რომელიც გამზომი ხელსაწყო სიზუსტის კლასს განსაზღვრავს. მულტიმეტრის ვირტუალური მოდელისათვის ფარდობითი ცდომილება

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} * 100\% = \frac{0.0135}{30} * 100\% = 0.045\% \quad 25$$

ასეთ შემთხვევაში განსხვავება ფარდობით ცდომილებებს შორის

$$\gamma_0 = \frac{\gamma_{\bar{r}} - \gamma_{\beta}}{\gamma_{\bar{r}}} * 100\% = \frac{0,05 - 0,045}{0,05} = 10\% \quad 26$$

ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ როგორც ერთჯერადი გაზომვისას ასევე მრავალჯერადი გაზომვებისას ჩატარებული ცდომილებათა ანალიზი გვიჩვენებს რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების მიღებული განსხვავება, ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადეკვატურობაზე მეტყველებს.

მრავალჯერადი გაზომვების შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10*9} 0.0001265^2} = 0.001185 \quad 27$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 * 0.001185 = 0.00142 \quad 28$$

\bar{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვამღებს [1]

$$\bar{d} = 0.8715 \quad 29$$

რაც მოთავსებულია \bar{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(q/2)} = 0,7153 < \bar{d} = 0,8715 < d_{q/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1].

ძირითადი ცდომილების განაწილების კანონი, მრავალჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ ნორმალური განაწილების მქონედ რომლისთვისაც $\alpha=1.65$.

$$u_{\beta} = \frac{\Delta_{\beta}}{\alpha} = \frac{0.00807}{1.65} = 0.0048 \quad 30$$

მულტიმეტრით წნევის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით:

$$u_{\theta} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.0129}{1.65} = 0,0078 \quad 31$$

დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის მიიღებს სახეს

$$u_{\gamma} = \frac{\Delta_{\gamma}}{1.65} = \frac{0,0005}{1.65} = 0,0003 \text{ mA} \quad 32$$

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.0048^2 + 0.0078^2 + 0,0003^2} = 0.0092 \quad 33$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$u_{\Sigma A, B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0.00142^2 + 0,0092^2} = 0.0093 \text{ mA} \quad 34$$

წნევის მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა

$$U = t_p(v) u_{\Sigma A, B}(P) \quad 35$$

სადაც $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც მიახლოებით [1]

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n}} = 1,65 \sqrt{1,22} = 1,82. \quad 36$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება

$$U = 1.82 \cdot 0.0093 = 0,0169 \text{ mA} \quad 37$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$P = 8.0152 \pm 0,0169 \text{ mA} \text{ სანდობის დონით } 0.95$$

განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის შეადგენს

$$U_0 = \frac{U_{\text{რ}} - U_{\text{ვ}}}{U_{\text{რ}}} \cdot 100\% = \frac{0.0161 - 0.0169}{0.0161} = 1\% \quad 38$$

ტემპერატურის ერთჯერადი გაზომვების დროს განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის

შეადგენს 1%, ხოლო მრავალჯერადი გაზომვების დროს კი განსხვავება შეადგენს 4%.

ხარჯის ერთჯერადი გაზომვების დროს განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის შეადგენს 2.5%, ხოლო მრავალჯერადი გაზომვების დროს კი განსხვავება შეადგენს 1%.

ბოლო მეხუთე თავის „ცდომილებათა ანალიზი და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელის ადექვატურობის გამოსაკვლევედ“ პირველ ნაწილში განხილულია რეალური ობიექტის სადგურთაშორისი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება წნევის მრავალჯერადი გაზომვების დისპერსიების შედარების გზით.

გაბნევის მახასიათებლის შეფასებისათვის მოვახდინეთ საწყისი და საბოლოო გაზომვის ჯგუფების დისპერსიების შედარება ფიშერის კრიტერიუმის მეშვეობით.

გამოვთვალეთ ფიშერის საანგარიშო მნიშვნელობა წნევის გაზომვისთვის საწყის და საბოლოო სადგურებისთვის. მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა 1,08 აღმოჩნდა ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0,924 \leq F = 1,08 \leq F_b = 3,1$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

საბოლოო და ვირტუალური სადგურების წნევის გაზომვისთვის საანგარიშო მნიშვნელობა 1.81 აღმოჩნდა ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0,924 \leq F = 1,81 \leq F_b = 3,1$ და ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

გაზომვის შედეგების ადექვატურობის შემოწმებისა და მონაცემთა გაერთიანების მიზნით მათი მყისიერი გაბნევის სიდიდის მუდმივობის შეფასებასთან ერთად მნიშვნელოვანია მიღებული შედეგების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებითობის შემოწმება. გაზომვის შედეგების რამოდენიმე ჯგუფის არსებობის შემთხვევაში ამ მიზნით შემოთავაზებულია ფიშერის კრიტერიუმის გამოყენება.

ვთვლით, რომ განსახილველი ჯგუფების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავება არაარსებითია და შესაძლებელია გაზომვის მონაცემების გაერთიანება თუ ფიშერის საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდა ფიშერის ზედა და ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობებს შორის.

წნევის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმების დროს ფიშერის საანგარიშო მნიშვნელობა ტოლია 0,3834. ფიშერის ზედა საანგარიშო მნიშვნელობა $F_{\phi} = 2,86$, ხოლო ქვედა კი 0,349.

რადგან $F_{\psi} = 0,349 \leq 0,3834 \leq F_{\phi} = 2,86$ ითვლება, რომ განსახილველი ჯგუფების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავება არაარსებითია.

გაზომვის შედეგების ჯგუფების დისპერსიების ერთგვაროვნების, აგრეთვე საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შესაბამისი კრიტერიუმებით დადგენის შემდეგ შესაძლებელია გადავიდეთ დაკვირვებათა შედეგების გაერთიანებაზე.

გაზომვათა ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისა და ერთობლივი საშუალოს დისპერსიის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 4.

ცხრილი 4

	დისპერსია	საშუალო არითმეტიკული
საწყისი სადგური	$S_{საწყ}^2 = 2.11 \cdot 10^{-5}$	$\bar{y}_{საწყ} = 20,0017$
საბოლოო სადგური	$S_{საბ}^2 = 1.95 \cdot 10^{-5}$	$\bar{y}_{საბ} = 20,0013$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{Y} = \frac{10 \cdot 20,0017 + 10 \cdot 20,0013}{20} = 20,0015 \quad 39$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$S_{\bar{Y}}^2 = \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 2.11 \cdot 10^{-5} + (10-1) \cdot 1.95 \cdot 10^{-5} + 10 \cdot (20,0017 - 20,0015)^2 + 10 \cdot (20,0013 - 20,0015)^2] = 9.62 \cdot 10^{-7} \quad 40$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიის მნიშვნელობა ერთგვაროვან და არაარსებითი განსხვავების მონაცემებისათვის შემცირდა, რაც გაზომვის რაოდენობის ზრდითაა გამოწვეული.

ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადექვატურობის დასაბუთებისათვის მოვახდნოთ ვირტუალური და რეალური მონაცემების გაერთიანება.

ვირტუალური მოდელისთვის წნევის გაზომვის გაზნევის მახასიათებლები მიხედვით:

$$\bar{y}_{virt} = 20.0033 \quad \bar{Y} = 20.0033 \quad S_{\bar{Y}}^2 = 9 \cdot 10^{-7}$$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{Y} = \frac{10 \cdot 20,0033 + 10 \cdot 20,0015}{20} = 20,0024 \quad 41$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$\begin{aligned} S_{\bar{Y}}^2 &= \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 9.67 \cdot 10^{-7} + (10-1) \cdot 9 \cdot 10^{-7} + 10 \cdot \\ &\quad \cdot (20,0015 - 20,0024)^2 + 10 \cdot (20,0033 - 20,0024)^2] = \\ &= 8.7 \cdot 10^{-8} \quad 42 \end{aligned}$$

წნევის დაკვირვებათა შედეგების ერთობლივი საშუალო დისპერსიის მნიშვნელობა ერთგვაროვან და არაარსებითი განსხვავების მონაცემებისათვის შემცირდა, რაც გაზომვის რაოდენობის ზრდითაა გამოწვეული.

დასკვნა და პრაქტიკული რეკომენდაციები

1. განხილულია ნავთობსადენის სატუმბ სადგურებში გამოყენებული საზომ საკონტროლო ოპერაციების ჩასატარებელი აღჭურვილობა, სამუშაოების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია, მათი თეორიული და პრაქტიკული საექსპლოატაციო მახასიათებლები;

2. შესწავლილია ნავთობსადენის დატვირთვის 0, 25, 50, 75, და 100% რეჟიმებისათვის სამი ძირითადი საკონტროლო პარამეტრის წნევის, ტემპერატურისა და ხარჯის ნორმატიულ-ტექნიკური პარამეტრები, ასევე საზომი საშუალებების კალიბრების მეთოდები;

3. დადგენილი და შესწავლილია არსებული მაგისტრალური და ლოკალური მილსადენების პროექტირებისა და ექსპლოატაციის პირობები, მათი საკონტროლო პარამეტრების გზნევის მახასიათებლები;

4. ჩატარებულია რეალური საკვლევი ობიექტის, მაგისტრალური ნავთობსადენის ბაქო - თბილისი - სუფსის, საკონტროლო პარამეტრების (წნევა, ტემპერატურა, ხარჯი) გაზომვათა შედეგების ცდომილებათა ანალიზი და შეფასებულია მათი გაზომვის განუსაზღვრელობები;

5. ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით თითოეული პარამეტრის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვისას, სხვადასხვა რეჟიმებისათვის, ჩატარებულია გაზომვის შედეგების თეორიული კვლევა და შესრულებულია პრაქტიკული გაანგარიშებები გაზომვის ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შესაფასებლად.

6. წარმოდგენილია მათემატიკური მოდელირების წრფივი და დინამიკური პროგრამირების სატრანსპორტო ამოცანა პროექტირების ეტაპზე მილსადენის პარამეტრების შერჩევისა და აპრობაციისათვის.

7. ნაშრომში დამუშავებული, შექმნილი და გამოკვლეულია ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში საზომი აპარატურის კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ვირტუალური მოდელები LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში;

8. რეალურ ობიექტზე ჩატარებული საკონტროლო პარამეტრების გაზომვების შედეგები შედარებულია LabVIEW გრაფიკული

პროგრამირების სივრცეში შექმნილ ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებულ ექსპერიმენტალური კვლევის მონაცემებთან;

9. ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული გაზომვების შედეგებისათვის მოცემულია ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასების ალგორითმი და რეალიზებულია LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში;

10. ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის საფუძველზე დადგენილია ვირტუალური მოდელების რეალურ ობიექტებთან ადექვატურობა;

11. გამოკვლეული და მოცემულია სადგურთშორისი დაკვირვებათა ჯგუფების შედეგების გაერთიანების პირობები რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის.

ნაშრომის აპრობაცია

სადისერტაციო თემის ირგვლივ ნაშრომის ძირითადი შედეგები სხვადასხვა წლებში მოხსენებული და განხილული იქნა სამეცნიერო - ტექნიკურ კონფერენციაზე, გამოქვეყნდა სამეცნიერო ჟურნალში და მოხსენდა სემინარებზე, მათ შორის:

1. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. დინამიკური პროგრამირება გაზგაყვანილობის სისტემის დაპროექტებაში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია "მართვის ავტომატიზებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები", 2011წ., 20-22 მაისი.

2. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. დინამიკური პროგრამირება გაზგაყვანილობის სისტემის დაპროექტებაში. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 1(10), 2011.

3. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. LabVIEW-ს სივრცეში ტრანსმიტერის ვირტუალური მოდელი მაგისტრალურ მილსადენზე წნევის კალიბრებსა და გაზომვსათვის. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, №2(13), 2012.

4. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი, ლ.გაჩეჩილაძე. წნევის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 1(14), 2013.

5. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი, გ.მურჯიკნელი. რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელის გაზომვის მონაცემების გაერთიანების პირობები. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 2(15), 2013.